

# 脈衝電集法在工業用紙廠廢水之應用

張安毅、余世宗；彭元興

E-mail: 9417449@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

國內工業用紙廠的廢水經二級生物系統處理後，其他水質指標都已符合製程使用規範，但因導電度偏高 ( $> 2000 \mu\text{s/cm}$ )及水色呈微琥珀色，將會嚴重影響抄紙機濕端化學系統的穩定性及製程系統的潔淨度，導致處理水必須放流，無法回收再利用。雖然國內指標工業用紙廠的單位用水量歷經十餘年的努力，已降低到6-8 m<sup>3</sup>/噸紙的國際水準，但因生產量高，每日放流水量仍在萬噸上下。先驅廠級脈衝電集系統的處理量設計為0.5-1 m<sup>3</sup>/hr，滯留時間為0.2-0.25 hr，系統主要單元有：調勻槽、脈衝電集反應器、曝氣槽、膠羽槽、沉澱槽等。試驗的工業用紙廠選定為中部某紙廠，主要產品為工業用芯紙，生產量在400 t/d，廢水排放量為3500-4000 m<sup>3</sup>/d。本研究分為五階段來執行以探討回收再利用的可行性、操作的最適條件及經濟效益評估，作為造紙業界製程選用的參考。第一階段實驗為分析廢水中導電度的來源，及原料 (TOCC及EOCC) 與化學藥品對於導電度的影響，作為探討對策的基礎資料庫。第二階段利用ICP來分析廢水中所含的金屬離子種類，並且了解其各廢水之基本性質。第三階段為利用鐵板為脈衝電集反應器之電極板來處理製程廢水、初級廢水及放流水，以探討其處理效果。第四階段為探討電極板材質對處理效果之影響，以及選擇不同助凝劑來觀察膠羽膠凝的現象。第五階段為合以上之操作條件與參數，選擇最佳的處理方式，並評估其經濟效益。由實驗中顯示，隨著操作電流及停留時間的增加，脈衝電集反應後之導電度、SS、COD、真色色度及金屬離子也會隨著電流及停留時間增長而去除。在各廢水中，以不同的停留時間及助凝劑濃度之最佳條件來看 (電流18 A，廢水停留時間16 min，助凝劑濃度10 mg/L)，製程廢水的導電度去除率達54.5%，SS去除率達98.4%，COD去除率達66.7%；初級廢水的導電度去除率達43.4%，SS去除率達100%，COD去除率達67.7%，真色色度去除率達89.4%；放流水的導電度去除率達50%，SS去除率達75%，COD去除率達71.9%，真色色度去除率達90.7%。証實脈衝電集法用於處理工業用紙廠廢水可行性。利用此最佳條件，使用數值迴歸方式推估出各廢水處理的推估模式，作為未來系統改良之參考。在助凝劑的選擇方面，廢水中含有大量的陽離子，選擇陰性助凝劑來進行膠凝，會有較好的效果。污泥經過游離度試驗，發現其脫水性良好，游離度可增加15%左右。以鋁板為電極板，對於導電度、COD及真色色度之去除效率較優於鐵板。由實驗中證明，脈衝電集法在處理工業用紙廠廢水是可行的，尤其使用在放流水處理，還可達到回收的功能。以放流水而言，最佳的處理條件下，處理成本在22.98元/噸水，導電度、SS、COD及真色色度去除率分別達50%、75%、71.9%、90.7%；經過經濟效益的評估，在經濟可行條件下 (電流8 A，停留時間10 min，助凝劑濃度10 mg/L)，其處理成本在4.18元/噸水，導電度、SS、COD及真色色度去除率分別達27%、50%、42.7%、64.1%。

關鍵詞：脈衝電集法、電化學、導電度、SS、COD、真色色度、CV

## 目錄

封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	英文摘要	vi	誌謝	ix	目錄	x	圖目錄	xiv	表目錄	xvii	第一章 前言	1-1	研究緣起	1	1-2 研究動機	1	1-3 研究目的	3	第二章 文獻回顧	2-1	造紙廢水處理流程及單元	5	2-1-1 造紙廠廢水水質特性	5	2-1-2 造紙廠之廢水處理單元流程	6	2-2 電化學方法	8	2-2-1 電化學處理法之主要反應作用	9	2-2-1-1 陽極的氧化作用	9	2-2-1-2 陰極的還原作用	10	2-2-1-3 溶液中之凝聚作用	10	2-2-1-4 溶液中的水解作用	11	2-2-1-5 溶液中的氣浮作用	11	2-2-2 電化學在廢水處理之應用	11	2-2-2-1 電解氧化法	14	2-2-2-2 電解浮除法	17	2-2-2-3 電解膠凝法	25	2-2-2-4 電聚浮除法	29	2-3 電化學分析儀	38	2-4 脈衝電集法	40	2-4-1 脈衝電集法之原理	40	2-4-2 脈衝電集法之處理流程	41	第三章 實驗設計及方法	3-1	實驗設計	43	3-1-1 操作條件及參數	45	3-1-2 系統設備及反應	46	3-2 實驗方法	53	3-2-1 實驗步驟及流程	53	3-2-2 分析項目及方法	54	3-2-3 實驗設備	55	3-2-4 實驗材料	56	第四章 實驗結果與討論	4-1	廢水基本資料	58	4-1-1 原物料分析	58	4-1-2 原水之水質分析	59	4-2 各操作參數之變化	63	4-2-1 操作電流及助凝劑濃度之影響	63	4-2-1-1 與導電度之關係	64	4-2-1-2 與SS之關係	71	4-2-1-3 與COD之關係	78	4-2-1-4 與真色色度之關係	85	4-2-2 操作電流及停留時間之影響	90	4-2-2-1 與導電度之關係	90	4-2-2-2 與SS之關係	97	4-2-2-3 與COD之關係	104	4-2-2-4 與真色色度之關係	111	4-3 各操作參數之模式推估	118	4-3-1 導電度之模式推估	118	4-3-2 SS之模式推估	121	4-3-3 COD之模式推估	124	4-3-4 真色色度之模式推估	127	4-4 污泥之游離度	131	4-5 電極板之選擇	133	4-5-1 鐵板之處理效果	133	4-5-2 鋁板之處理效果	136	4-5-3 電極板材質之金屬離子濃度變化	138	4-5-4 電極板材質之CV變化	143	4-4-5 電極板之選擇	149	4-6 助凝劑之選擇	149	4-7 反應機構之證明	157	4-7-1 假設反應機構	157	4-7-2 假設之證明	158	4-8 處理成本估算	162	4-9 技術可行性	165	第五章 結論與建議	5-1	結論	167	5-2 建議	170	參考文獻	.171	附錄	177
------	-----	-----	-----	------	----	------	----	----	----	----	---	-----	-----	-----	------	--------	-----	------	---	----------	---	----------	---	----------	-----	-------------	---	-----------------	---	--------------------	---	-----------	---	---------------------	---	-----------------	---	-----------------	----	------------------	----	------------------	----	------------------	----	-------------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	------------	----	-----------	----	----------------	----	------------------	----	-------------	-----	------	----	---------------	----	---------------	----	----------	----	---------------	----	---------------	----	------------	----	------------	----	-------------	-----	--------	----	-------------	----	---------------	----	--------------	----	---------------------	----	-----------------	----	----------------	----	-----------------	----	------------------	----	--------------------	----	-----------------	----	----------------	----	-----------------	-----	------------------	-----	----------------	-----	----------------	-----	---------------	-----	----------------	-----	-----------------	-----	------------	-----	------------	-----	---------------	-----	---------------	-----	----------------------	-----	------------------	-----	--------------	-----	------------	-----	-------------	-----	--------------	-----	-------------	-----	------------	-----	-----------	-----	-----------	-----	----	-----	--------	-----	------	------	----	-----

參考文獻

1. 詹佩珍 (2002), 製紙廠廢水處理單元最適化操作條件之建立 - 利用田口品質工程評, 碩士論文, 國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系 2. 水污染防治法規 (2003), 行政院環境保護署環境保護人員訓練所編印 3. 台灣區造紙工業同業公會統計資料 (2003) 4. 彭元興、王益真、史濟元、張安毅、林逸汎 (2004), 工業用紙廠廢水回收再利用探討—先驅廠級脈衝電集系統的應用, 清潔生產暨永續發展研討會, 台北 5. 黃順興 (1999), 電聚浮除法處理氯苯之探討, 碩士論文, 淡江大學水資源及環境工程系 6. 劉世澧 (2000), 電聚浮除法處理受污染感潮河段河水之能力, 碩士論文, 淡江大學水資源及環境工程系 7. 呂明和 (1994), 電解泡沫浮除重金屬反應機制之研究, 博士論文, 國立成功大學環境工程系 8. 龐熙華 (2001), 利用電聚浮除法處理廢水中Cu-EDTA之研究, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 9. Chiang, L. C., J. E. Chang and T. C. Wen (1995), Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate, *Water Res.*, 29 (2): 671-678 10. Chiang, L. C., J. E. Chang and T. C. Wen (1995), Electrochemical oxidation process for the treatment of coke-plant wastewater, *J. Environ. Sci. Health*, 30 (3): 753-771 11. Lin, S. H. and C. L. Wu (1996), Electrochemical removal of nitrite and ammonia for aquaculture, *Water Res.*, 30 (3): 715-721 12. Chiang, L. C., J. E. Chang and S. C. Tseng (1996), Electrochemical oxidation pretreatment of refractory organic pollutants, *Water Sci. and Tech.*, 36 (2-3): 123-130 13. 陳鴻烈、鄭慧玲 (1995), 電解氧化法去除飲用水源中有機物影響因子之研究, *農林學報*, 44 (4): 57-69 14. 丁浣屏 (2002), 以電-芬頓程序處理含苯環類化合物廢水, 碩士論文, 私立嘉南藥理科技大學環境工程衛生系 15. 謝長原 (2002), 電解催化氧化氯酚之研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 16. Costaz, P., J. Miquel and M. Reinbold (1983), Simultaneous electroflotation and disinfection of sewage, *Water Res.*, 17(3): 255-262 17. Srinivasan, V. and M. Subbaiyan (1989), Electroflotation studies on Cu, Ni, Zn and Cd with ammonium dodecyl dithiocarbamate, *Sep. Sci. & Tech.*, 24 (172): 145-150 18. 洪志雄 (1982), 油脂食品廢水電解處理之研究評估, 碩士論文, 國立成功大學化學工程系 19. 楊秀真 (1991), 電解浮除法處理黃豆油脫酸製程廢水之研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 20. 許正德 (1992), 電解浮除(電化膠凝)處理含油脂之肉品市場廢水, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 21. 翁崑沅 (1992), 電解浮除(電化膠凝)處理粗紙製漿黑液之可行性, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 22. 孫忠偉 (1993), 電解浮除處理豬皮製革廢水, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 23. 李冠世 (1993), 電解浮除處理魚市場廢水, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 24. 呂明和、張祖恩 (1999), 電解法處理含重金屬垃圾滲出水之可行性研究, 第二十四屆廢水處理技術研討會, 中壢 25. Pouet, M. F. and A. Grasmick (1995), Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Tech.*, 31 (3-4): 275-283 26. Tsai, C. T., S. T. Lin, Y. C. Shue and P. I. Su (1997), Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills, *Water Res.*, 31 (12): 3073-3081 27. Yang, C. L. (2000), Removal of chromium from abrasive blast media by leaching and electrochemical precipitation, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 50 (4): 536-542 28. 朱國雄 (1992), 以電解膠凝法處理養豬廢水之研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 29. 林家慶 (1995), 電解Fenton法處理難分解性污染物之可行性研究, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 30. 柯建成 (1997), 電聚膠凝法處理染整廢水之研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 31. 鄭華安 (2000), 工業區廢水二級處理放流水回收再利用技術研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 32. 陳彥旻 (2003), 半導體化學機械研磨廢水回收處理再利用技術研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 33. 呂冠霖、高思懷 (1997), 利用電聚浮除法處理染整工業區廢水之研究, 第二十二屆廢水處理技術研討會論文集, 台中, pp. 561-568 34. 劉敬彪、高思懷 (1997), 比較電聚浮除法、電凝法、Fenton法改善染整工業區廢水之研究, 第二十二屆廢水處理技術研討會論文集, 台中, pp. 553-560 35. 張子蕙、高思懷 (1998), 利用電聚浮除法處理生活污水能力之探討, 第二十三屆廢水處理技術研討會論文集, 高雄, pp. 358-365 36. 詹世鴻 (1998), 製漿及造紙廢水再生利用技術之可行性研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 37. 何祖霆 (1998), 抄紙廢水再生利用技術研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 38. 連文良 (1998), 食品廢水回收處理再生利用技術之可行性研究, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 39. 張家倫 (1998), 利用電聚浮除法處理乳化液中油脂之研究, 碩士論文, 國立台灣大學環境工程系 40. 李宗哲 (1998), 利用電聚浮除法處理染料廢水能力之探討, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 41. 張志銘 (1999), 電聚浮除法配合逆滲透法處理石化廢水之研究, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 42. 王文義 (2000), 利用電聚浮除法處理工業綜合廢水之研究, 碩士論文, 逢甲大學土木及水利工程系 43. 李奇樺 (2000), 啤酒廢水二級出流水之回收處理再利用, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系 44. 林進榮 (2000), 電膠羽浮除法回收建築物雜排水之可行性研究, 碩士論文, 國立台灣大學環境工程系 45. 劉冠池 (2001), 利用電聚浮除釋鐵量之推估探討垃圾焚化廠廢水處理之最適條件, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 46. 李啟旻 (2002), 添加界面活性劑於電聚浮除法處理化學機械研磨 (CMP) 廢水之研究, 碩士論文, 國立台灣大學環境工程系 47. 陳冠霖 (2002), 以電聚浮除法處理高濃度氯鹽含鉛廢水之研究, 碩士論文, 私立淡江大學水資源及環境工程系 48. 謝祥麟 (2004), 利用網版印刷碳電極探討不同處理對土壤有效性鉛的影響, 碩士論文, 國立中興大學土壤環境科學系 49. 陳見財、張資穎、林冠嘉 (1997), 利用高電壓低電流電解法處理染整廢水之可行性評估, 工業污染防治工程實務技術研討會 50. 陳見財 (1997), 利用高壓脈衝電凝法處理染整廢水之可行性評估, 中技社 51. 陳宏昌 (2002), MEEP及PAN奈米複合高分子電解質之製備、性質及其在鋰二次電池之應用研究, 博士論文, 私立中原大學化學研究所 52. 方賢秀 (1995), 粒子電荷偵測器的應用及固著劑的介紹, 漿紙技術, (1) 1: 43-48 53. 彭元興 (1992), 電化學在製漿造紙的應用, 漿與紙, 13(6): 5-25 54. 「傑世脈衝電集廢水全自動處理系統」型錄 (2004), 傑世環保科技工程有限公司 55. 李俊德、何祖霆 (1997), 各種用水合理化研究—造紙廢水再生利用技術研究 (1), 行政院國家科學委員會八十七年度石油暨石化產業科技學術合作研究計畫, NSC 86-2621-P006-016